Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 31 (1940)
Heft: 26

Artikel: Überspannungsschutz mit Kapazitäten
Autor: Meyer, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058037

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:	ADMINISTRATION:
Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8	Zurich, Stauffacherquai 36 ✦ Téléphone 51742 Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXXI^e Année — N° 26 — Vendredi, 27 Décembre 1940

Ueberspannungsschutz mit Kapazitäten.

Von *H. Meyer*, Baden.

621.316.936

Die im Bericht Nr. 107 der CIGRE 1939 angegebene Berechnung der Schutzwirkung von Kapazitäten (Kondensatoren und Schutzkabel) wird hier weitergeführt und auf eine zweckmässige und ein für allemal in Kurvenform darstellbare Form gebracht.

L'auteur reprend le calcul de l'effet protecteur des capacités (condensateurs et câbles de protection) indiqué dans le rapport No. 107 de la CIGRE 1939 et aboutit à une solution qui, une fois pour toutes, se laisse facilement représenter graphiquement par une courbe.

Die Wirkung des Schutzkondensators wurde von Métraux und Rutgers im Bericht 107 der CIGRE 1939 sowie von Métraux im Bulletin des SEV 1939, Nr. 1, ausführlich dargestellt. Leider sind aber die Berechnungen an einem Punkt abgebrochen, bei dem sie nur umständlich durchführbar sind und eine übersichtliche Darstellung der Resultate unmöglich ist. Im folgenden soll daher die Berechnung noch ausführlicher behandelt und weitergeführt werden.

Wir betrachten nach Fig. 1 einen Schutzkondensator C, an den eine Leitung mit dem Wellenwiderstand Z_1 angeschlossen ist, auf der eine Welle mit

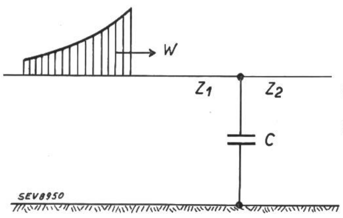

Fig. 1.
W Einfallende Welle.
Z_1 Leitung mit Wellenwiderstand Z_1.
Z_2 Leitung mit Wellenwiderstand Z_2.
C Schutzkapazität.

der Amplitude u_s ankommt; weitere an den Kondensator (Station) angeschlossene Leitungen sind für die Welle als parallelgeschaltete abgehende Leitungen zu betrachten und können als resultierende Leitung mit einem Wellenwiderstand Z_2 berücksichtigt werden. Für die einfallende Welle machen wir wie im genannten Bericht die Voraussetzung, dass sie eine unendlich kurze Front und einen exponentiell abfallenden Rücken besitze; die Berücksichtigung einer ebenfalls exponentiellen Front mit endlicher Anstiegsdauer würde nur eine ganz unwesentliche Aenderung des Resultates bedingen, aber für die Berechnung auf transzendente Gleichungen führen und kein allgemein auswertbares Resultat ergeben.

Mit den Bezeichnungen:

u_s Amplitude der einfallenden Welle
ϑ Rückenzeitkonstante der einfallenden Welle
T_H Halbwertzeit der einfallenden Welle
T Zeitkonstante der Schutzanordnung
a Reflexionsfaktor

gelten die Beziehungen:

$$\vartheta = \frac{T_H}{0{,}693} \tag{1}$$

$$T = \frac{Z_1\,Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot C \tag{2}$$

$$a = \frac{2\,Z_2}{Z_1 + Z_2} \tag{3}$$

wobei noch für eine Kopfstation ($Z_2 = \infty$) speziell

$$T = Z_1 \cdot C \quad \text{und} \quad a = 2 \tag{4}$$

wird.

Der Spannungsverlauf an der Schutzkapazität C erfolgt nun nach der Gleichung

$$u = a\,u_s\,\frac{\vartheta}{\vartheta - T}\left\{\varepsilon^{-\frac{t}{\vartheta}} - \varepsilon^{-\frac{t}{T}}\right\} \tag{5}$$ [1]

Das Spannungsmaximum ergibt sich in bekannter Weise durch Differentiation für eine Zeit t_{max}, die sich aus der Gleichung bestimmt:

$$t_{max} = \frac{\vartheta\,T}{\vartheta - T}\,\lg\left(\frac{\vartheta}{T}\right) \tag{6}$$

Hier ist nun der allgemeine Rechnungsgang nach dem genannten Bericht 107 der CIGRE abgebrochen und man hätte also für jeden Fall nach Gl. (6) die Zeit t_{max} und damit nach Gl. (5) die interessierende Spannung zu berechnen. Man kann aber den Rechnungsgang allgemein folgendermassen weiterführen:

[1] Vgl. z. B. Rüdenberg, Elektrische Schaltvorgänge, Kap. 55.

Durch Einsetzen von (6) in (5) ergibt sich

$$u = a\,u_s\,\frac{\vartheta}{\vartheta - T}\left\{\varepsilon^{-\frac{T}{\vartheta-T}\lg\frac{\vartheta}{T}} - \varepsilon^{-\frac{\vartheta}{\vartheta-T}\lg\frac{\vartheta}{T}}\right\}$$

da aber

$$\varepsilon^{-\frac{T}{\vartheta-T}\lg\frac{\vartheta}{T}} = \left(\varepsilon^{\lg\frac{\vartheta}{T}}\right)^{-\frac{T}{\vartheta-T}} = \left(\frac{\vartheta}{T}\right)^{-\frac{T}{\vartheta-T}},$$

wird:

$$u = a\,u_s\left(\frac{\vartheta}{\vartheta - T}\right)\left\{\left(\frac{\vartheta}{T}\right)^{\frac{-T}{\vartheta-T}} - \left(\frac{\vartheta}{T}\right)^{\frac{-\vartheta}{\vartheta-T}}\right\}$$

$$= a\,u_s\left(\frac{\vartheta}{\vartheta - T}\right)\left\{\left(\frac{\vartheta}{T}\right)^{\frac{T}{T-\vartheta}} - \left(\frac{\vartheta}{T}\right)^{\frac{\vartheta}{T-\vartheta}}\right\}$$

$$= a\,u_s\left(\frac{\vartheta}{\vartheta - T}\right)\left(\frac{\vartheta}{T}\right)^{\frac{T}{T-\vartheta}}\left\{1 - \left(\frac{\vartheta}{T}\right)^{\frac{\vartheta-T}{T-\vartheta}}\right\}$$

$$= a\,u_s\left(\frac{\vartheta}{\vartheta - T}\right)\left(\frac{\vartheta}{T}\right)^{\frac{T}{T-\vartheta}}\left\{1 - \frac{T}{\vartheta}\right\}$$

$$u = a\,u_s\left(\frac{\vartheta}{T}\right)^{\frac{T}{T-\vartheta}} = a\,u_s\left(\frac{\vartheta}{T}\right)^{\frac{1}{1-\frac{\vartheta}{T}}} \qquad (7)$$

Praktisch interessiert nun aber meist weder der absolute Wert der Spannung am Kondensator noch derjenige der einfallenden Welle, sondern das Verhältnis y der Spannung am Knotenpunkt mit oder ohne Kondensator. Ohne Schutzkapazität wäre aber die Spannung am Knotenpunkt $(a \cdot u_s)$, so dass sich für dieses «Schutzverhältnis» y die Beziehung ergibt:

$$y = \frac{u}{a\,u_s} = \left(\frac{\vartheta}{T}\right)^{\frac{1}{1-\left(\frac{\vartheta}{T}\right)}} = x^{\frac{1}{1-x}} \qquad (8)$$

$$\text{mit } x = \frac{\vartheta}{T} = \frac{T_H}{0{,}693\,T}$$

Diese Funktion kann nach Fig. 2 ein für allemal aufgetragen werden.

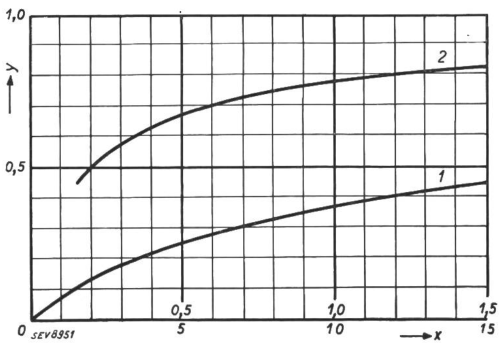

Fig. 2.
Ueberspannungsschutz mit Kondensatoren.
Schutzverhältnis $y = x^{\frac{1}{1-x}}$; $\left(x = \frac{\vartheta}{T} = \frac{T_H}{0{,}693\,T}\right)$
1 Argumentswerte von 0 bis 1,5 (oberer Maßstab).
2 Argumentswerte von 1,5 bis 15 (unterer Maßstab).

(Die Funktion geht u. a. durch die folgenden speziellen Punkte:

$x = 0{,}5$, $x = 1$ $x = 2$
$y = 0{,}25$ $y = {}^1/\varepsilon = 0{,}368$ $y = 0{,}5$)

Das folgende *Beispiel* möge die berechneten Zusammenhänge veranschaulichen:

Daten: Kopfstation, 50 kV Betriebsspannung;
Wellenwiderstand der Zuleitung 500 Ω;
Schutzkapazität 0,1 μF in jeder Phase (78,5 kVA),
($T = 0{,}1 \cdot 500 = 50$ μs).

Für verschiedene einfallende Wellen ergeben sich die Resultate:

	Einfallende Welle Scheitelwert kV	Halbwertzeit µs	$x = \frac{\vartheta}{T} = \frac{T_H}{0{,}693\,T}$	Schutzverhältnis y	Max. Scheitelwert d. Spannung in d. Station kV
a	$150 \cdot \sqrt{2}$	30	0,865	0,34	$102 \cdot \sqrt{2}$
b	$150 \cdot \sqrt{2}$	60	1,73	0,47	$141 \cdot \sqrt{2}$
c	$300 \cdot \sqrt{2}$	30	0,865	0,34	$204 \cdot \sqrt{2}$

Aus den Gl. (7) und (8) ergeben sich die wichtigen allgemeinen Folgerungen:

1. Für Ueberspannungswellen gleicher Halbwertsdauer ist die maximale Spannung an der Schutzkapazität (Station) ***direkt proportional der Höhe der einfallenden Welle*** *(vgl. Beispiel a und c).*

2. Bei gleicher Höhe der einfallenden Welle nimmt die maximale Spannung an der Schutzkapazität zu mit der Halbwertsdauer der Welle entsprechend dem Verlauf von y (vgl. Fig. 2 und Beispiel a und b).

3. Die Schutzwirkung der Kapazität entsprechend den obigen Rechnungen kommt nur zustande, wenn die Ueberspannung auf einer ***Leitung einläuft, die den Wellenstrom durch ihren Wellenwiderstand begrenzt;*** *sie tritt also nicht ein bei direkten Blitzeinschlägen in Stationsnähe.*

Die bisherigen Betrachtungen beschränkten sich voraussetzungsgemäss zunächst auf diejenigen Fälle, bei denen die Schutzkapazitäten in konzentrierter Form als eigentliche Kondensatoren angeordnet sind. Oft wird die Schutzkapazität jedoch in Form von kurzen *Kabelstrecken* am Stationseingang angebracht; bekanntlich erfolgt dann der Spannungsanstieg in der Station stufenartig[2]), wobei aber ihr mittlerer Verlauf derselbe ist, wie wenn die Kabelkapazität in konzentrierter Form als Kondensator angebracht wäre. *Unsere Berechnungen und Folgerungen behalten daher auch für diesen Fall ihre volle Gültigkeit,* unter der einzigen Bedingung, dass die Stufendauer, d. h. die Wellenlaufzeit über die doppelte Kabelstrecke klein sei gegenüber der Halbwertsdauer der einfallenden Welle; diese Bedingung ist jedoch in den praktischen Fällen mit Kabellängen von einigen hundert Metern Länge stets erfüllt.

[2]) Vgl. u. a.: Rüdenberg, l. c. Kap. 58.